電磁結合に頼った標準PPを越えようとした

各種並列プッシュプル回路の考察

金指長生

ユニティ・カプリングとは

1940年代末，マッキントッシュは新しい巻線方式の出力トランスを開発してパテントを申請し，かつ，それを中心に据えたパワー・アンプを製品をとして世に問いました．周知のように，これがマランツとともに管球オーディオの黄金期を築くマッキントッシュ・アンプの幕開けといってよいでしょう．

しかし，後に「ユニティ・カプルド方式」と呼ばれることになるマッキントッシュ・トランスは，単に1つの巻線技術というに止まらず，回路技術上でも大きなエポックを画したものでした．すなわち，通常のプッシュプルを直列型プッシュプルとするなら，並列型プッシュプルというべき回路方式が明くる1950年代にはつぎつぎに考案されることになるのであり，マッキントッシュ・アンプ／トランスはその嚆矢となったのです．

みずから4半世紀をマッキントッシュ・ラボで過ごしたロジャー・ラッセル氏によれば，1946年にゴードン・ガウをエンジニアリング・アシスタントに迎えたフランク・マッキントッシュは，かねてより温めていたユニティ・カプリング構想を共同開発の末，1948年に至ってついに実装に漕ぎ着け，パテントを申請します．それは1947年，D. T. N. ウィリアムソンが斬新な構想の負帰還アンプを発表し，オーディオ・プッシュプル・アンプ設計メソッドとして決定的エポックを刻んだ，その余韻のさなかのことです．

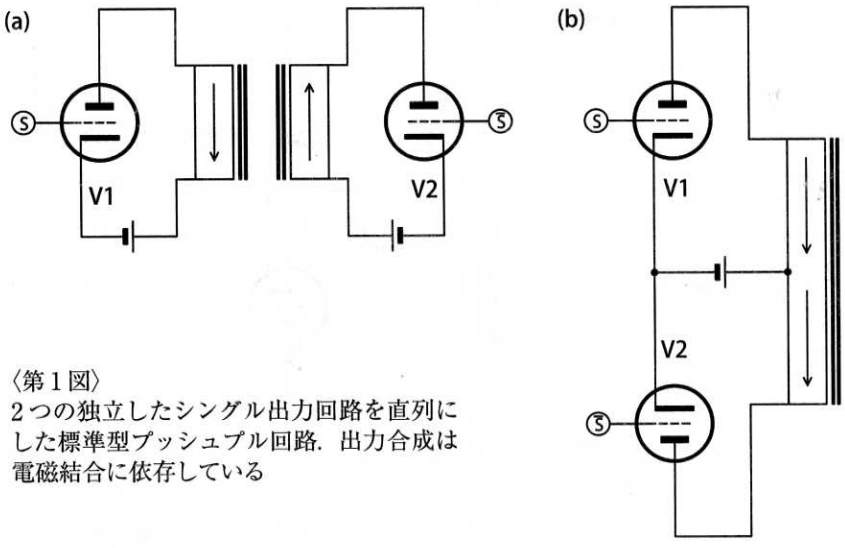
マッキントッシュにやや遅れて1951年3月，ピーターソン＆シンクレアのシングル・エンデッド・プッシュプル（SEPP）回路が，IRE-ナショナル・コンベンションで発表され，さらにその数年後，エレクトロボイスがサークロトロン回路を発表します．

サークロトロン方式は，並列化のアイディアが，マッキントッシュなどに比べてより原理的直截的であるためか，他のいくつかの国々でも時期を前後して同様の回路方式が考案されています．しかしここには，サークロトロンに先んじてわが国で発表され，もっぱらOTL用途を目指した島田聡氏のクロスシャント・プッシュプルを加えるべきでしょう．

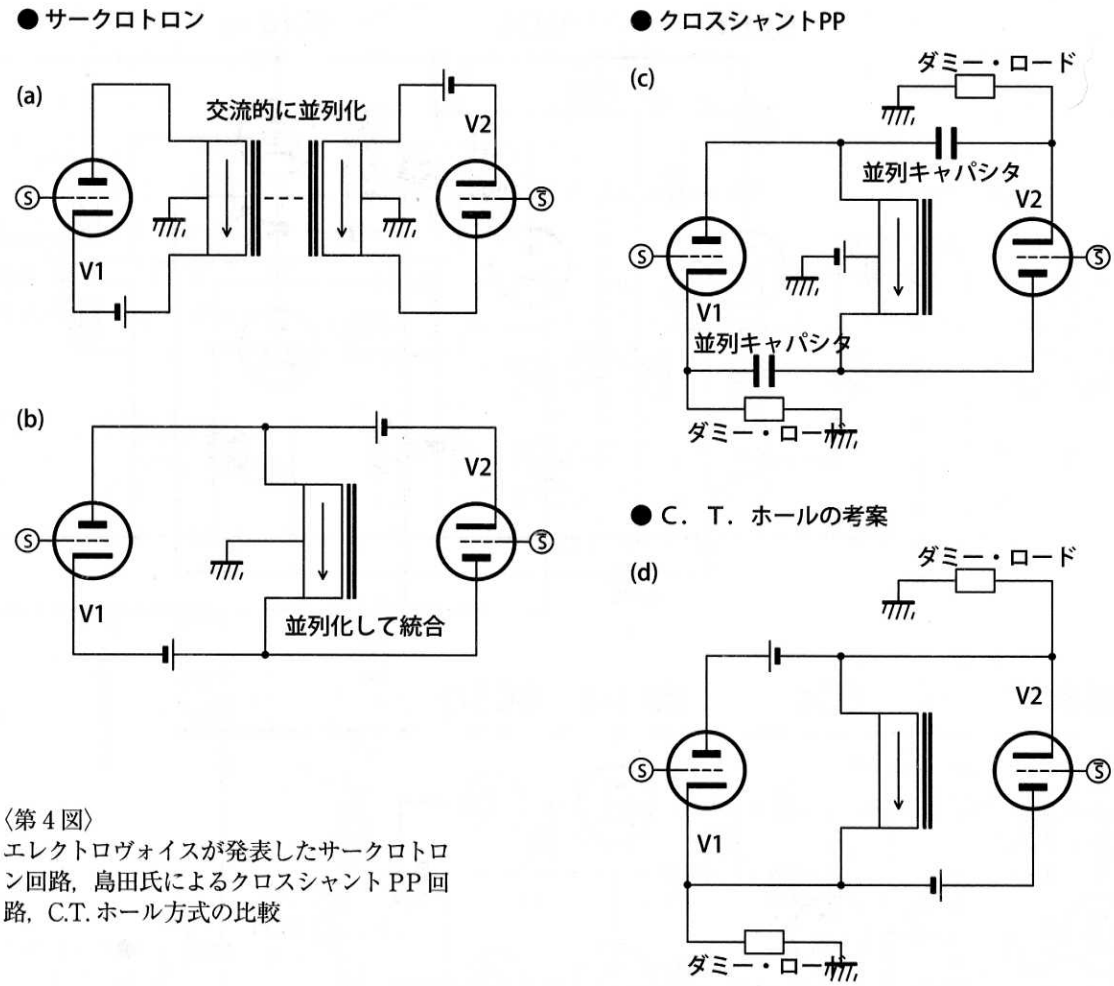
そしてさらに後に述べる理由から，一般にはカソード・フィードバックとして知られるアコースティカル・マニュファクチャリング（現クオード･エレクトロ･アコースティックス）の，QUAD Ⅱに代表される一連のアンプも，この形式の重要なバリエーションと見てよいでしょう．

これらのデバイスは，2つの逆相シングル出力回路をいかに密接に結合するかに腐心しつつ考案されたものであって，ここには，いずれも従来のダブル・エンド型プッシュプルを越えて行こうとするやみがたい技術上の衝迫が感じられ，この時代のエンジニアたちの回路技術に打ち込んだ熱い思いが，半世紀の時間を越えて私の胸をもまた熱く打ちます．

もともと本稿は，並列型アンプの



〈第1図〉
2つの独立したシングル出力回路を直列にした標準型プッシュプル回路．出力合成は電磁結合に依存している



〈第4図〉
エレクトロヴォイスが発表したサークロトロン回路，島田氏によるクロスシャントPP回路，C.T.ホール方式の比較

バイファイラ・トランスの在りかたを求めつつ深入りせず，そこから引き返したのだ，と私は考えています．そういう点から見ても，ドライブ回路を含めてトータルにSEPPを考察したピーターソン&シンクレア回路をSEPPオリジナルである，としてよいでしょう．

原理が明快なサークロトロン回路

第2図 (a) から，Gnd電位を出力トランスの2つの巻線それぞれの中点に採ったものが**第4図 (a)** です．ここで2つの電源を移動せず，そのままフローティングで独立に用意すれば，両巻線は全ポテンシャルにわたって直流的にはフリーであり，かつ，交流的には等電位となるので，**第4図 (b)** のように単一巻線に統合することができます．これがエレクトロボイスのサークロトロン回路です．

サークロトロンは並列原理が明快で，プッシュプルの対称性が回路上に美しく表現されますから，アンプ製作者としてそこに魅力を感ずるファンも多いと思われますが，出力段の電源が，バイアス用を別にしても，フローティングで2つ，ステレオなら4つを必要とすることは，制作意欲とっては若干以上のハードルになるかも知れません．

CSPP回路

第4図 (c) に，島田聡氏が1952年に発表したクロスシャント・プッシュプル(CSPP)回路の原理図を示します．**第3図 (b)** のサークロトロンに対して，つぎの点が異なっています．

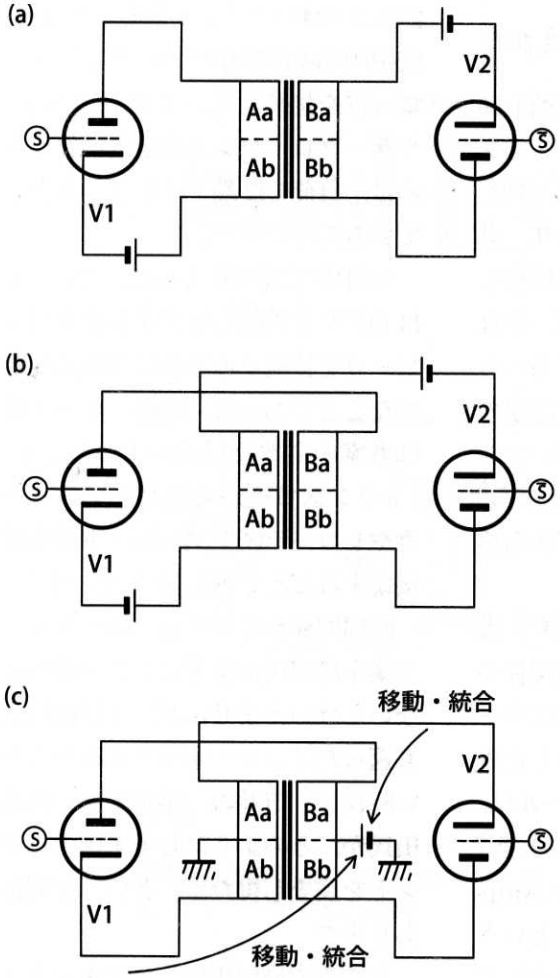
①電源を共通化し，出力トランス中点とGnd間に設置する．

②V1，V2カソードから，負荷に比較して相当程度大きいインピーダンスのダミー・ロードでGndに落とし，電源に対する直流リターン・パスを確立する．

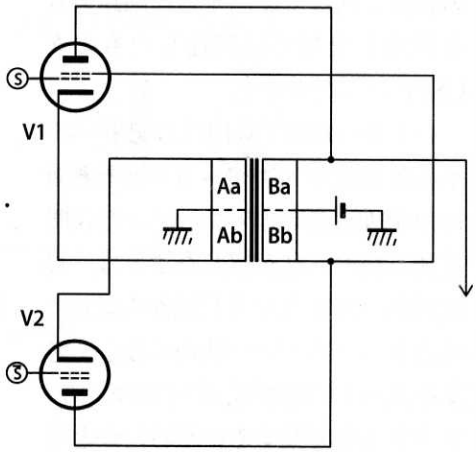
③V1，V2のカソードから大容量のシャント・キャパシタで負荷に接続し，交流信号をリターンさせる．接続点はちょうど対立管のプレートに該当する．ちなみに，これが「クロスシャント」というネーミングの由来であると，島田氏は明かしています．

一見すると，サークロトロンや後述のマッキントッシュに比べ，回路的な洗練に欠ける感が否めないCSPPですが，これには理由があります．

この考案で島田氏は，一直線にOTLの実現を目指していました．



〈第5図〉
マッキントッシュ型回路の展開．(d) がマッキントッシュのユニティ・カップリング回路．トランスの極性表示は省略



〈第6図〉
多極管でのスクリーン・グリッド回路の処理

解釈すれば，この時点で島田氏はマッキントッシュ回路について承知していなかった，と推察できます．むしろ仮にマッキントッシュを知っていたとしても，島田氏が出力トランスを追放することを目的としていたのに対し，マッキントッシュはまさに出力トランスを考案の中心に据えていたので，両者に折り合うところがなかったのだ，とはいえるかも知れません．

のちほどまた触れますが，ここでは，島田氏のＣＳＰＰとマッキントッシュにはホモロジカルというべき類同性が見られることを指摘しておきましょう．

バイファイラー巻トランスこそがマッキントッシュの主眼

さてここで，**第2図 (b)** のGndポジションを採る前に戻り，同一磁気回路中の２つの巻線それぞれについて，中点で２分し，４つのセクションに分けて考えてみましょう．

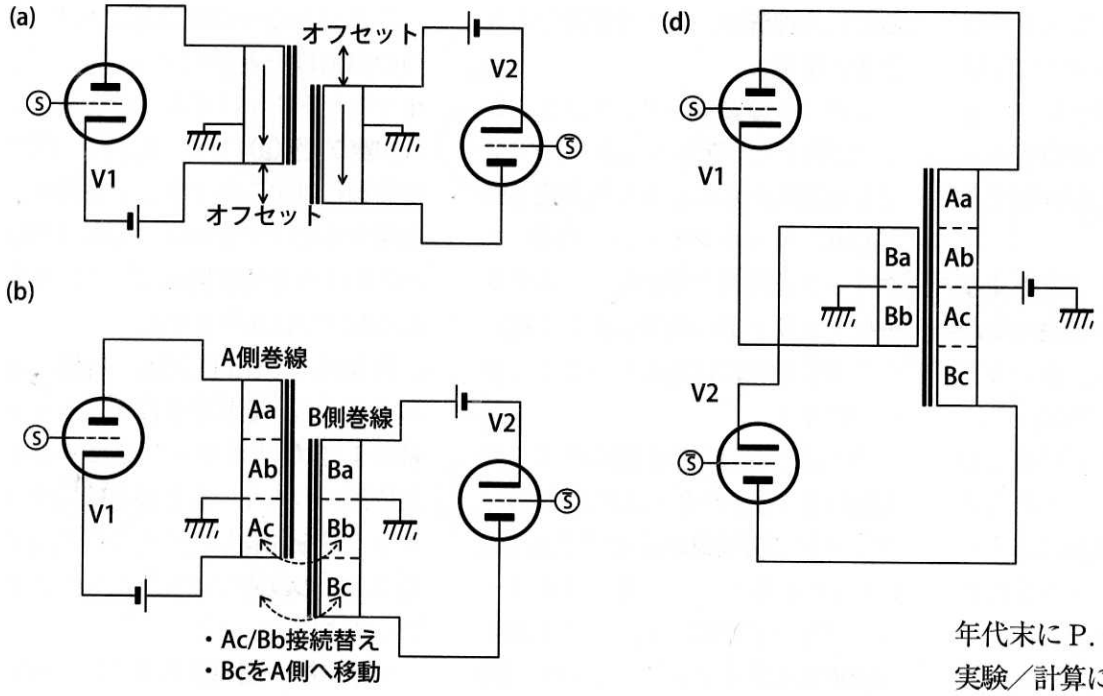
第5図 (a) でセクション Aa とセクションＢａは，先に触れたように直流的には相互にフリーであり，交流的には至るところ同電位ですから互いに交換可能であって，接続を交換したものが**第5図 (b)** です．

ここでGndポジションを両巻線それぞれの中点にとってV1，V2両管の電源電流を交差させ，さらに２つの電源を各電流経路内で移動・統合すると**第5図 (C)** となり，それをわかりやすく書き替えたものが**第5図 (d)** で，これが見慣れたマッキントッシュ回路です．

もっとも，マッキントッシュはこの回路を考案の主眼としたわけではなく，マッキントッシュ最大の主張は，マッキントッシュ・トランスとして知られる出力トランス１次側両巻線バイファイラー巻きにあったことは広く知られているとおりです．

また現在私たちがマキントッシュ回路を“ユニティ・カップル”と呼んでいるのも，マッキントシュ自身が当初からそう呼んでいたわけではなく，1954年の懸賞公募により創作されだ名称であることを，先のラッセル氏は明かしています．

ところで，**第5図**は端的な概念を示すためにV1，V2を３極管で表現していますが，現実的な実装として終段管を４極／５極管としてスクリーン・グリッド接続を入れたもの，たとえばマッキントッシュ50W-1が**第6図**です．V1，V2両管の負



〈第7図〉
QUADアンプのカソード帰還回路の考えかた

流的に考えた場合，同一磁気回路内にあるかぎりこのセクションはB側巻線にある必要はなく，A側巻線に移動しても問題ありません．またAcとBbとは対応する全ポテンシャルで直流的にも交流的にも同電圧・同位相ですから，交換することができます．

そこでBcをA側巻線に移動し，AcをBbに接続替えすると，結局**第7図 (C)** のようになりますが，マッキントシュの場合と同様に，電源を適宜に移動・統合して整理すると，**第7図 (d)** となります．これがQUADアンプ群で有名なアコースティカル・マニュファクチャリングのカソード帰還型回路です．

実際のQUADアンプの終段管は4極ビーム管KT-66であり，スクリーン・グリッドをGndに落としているので，マッキントッシュ回路で説明したように，UL接続といえます．ただしこの場合のタップ位置は，カソード巻線とプレート巻線を加えた全巻線に対するカソード巻線の比によって決まるもので，つまり，カソード巻線は単にカソード帰還量を決定するのみならず，同時にULタップ位置をも決定していることになるわけです．

周知のように，ULタップの理想的位置は，ハフラー／ケローズの論文に示された“インピーダンス比18.5%（=巻線比43%）”というのが定説であり，以来これを規範としてタップを採ることが定着しています（50%というのもありますが）．

この論文の存在しなかった1940年代末にP．ウォーカー氏が精緻な実験／計算に基づいてUL量を決定したのか否か，私は知りません．しかし，この考えかたでスクリーン・グリッドに本来的機能を回復（つまり非UL化）するためには，マッキントッシュの場合のように，対向管のプレートに接続するわけには行かず（強い正帰還となる），プレート巻線に適切なタップを必要とすることも，また明らかなことでしょう．

付言すると，昨今ではULタップとカソード帰還巻線を同時に具えたOPTを数多く見掛けますが，残念なことに，カソード巻線とULタップ位置との関係についてコメントしている製品を見たことがありません．つまり，カソード巻線はオプションであろうと思われるのに，それを適用する場合とそうでない場合とでULタップの位置が変化することに言及していないことが，私には不思議でなりません．

さらにはなはだしい勘違いと思われるのは，ULタップ位置を通常とおりの位置（40%～50%）に置いたまま“カソード帰還付き”を謳っているものも散見され，この場合のULは，ハフラー／ケローズが苦労して求めた“理想的UL”を遠く離れた3